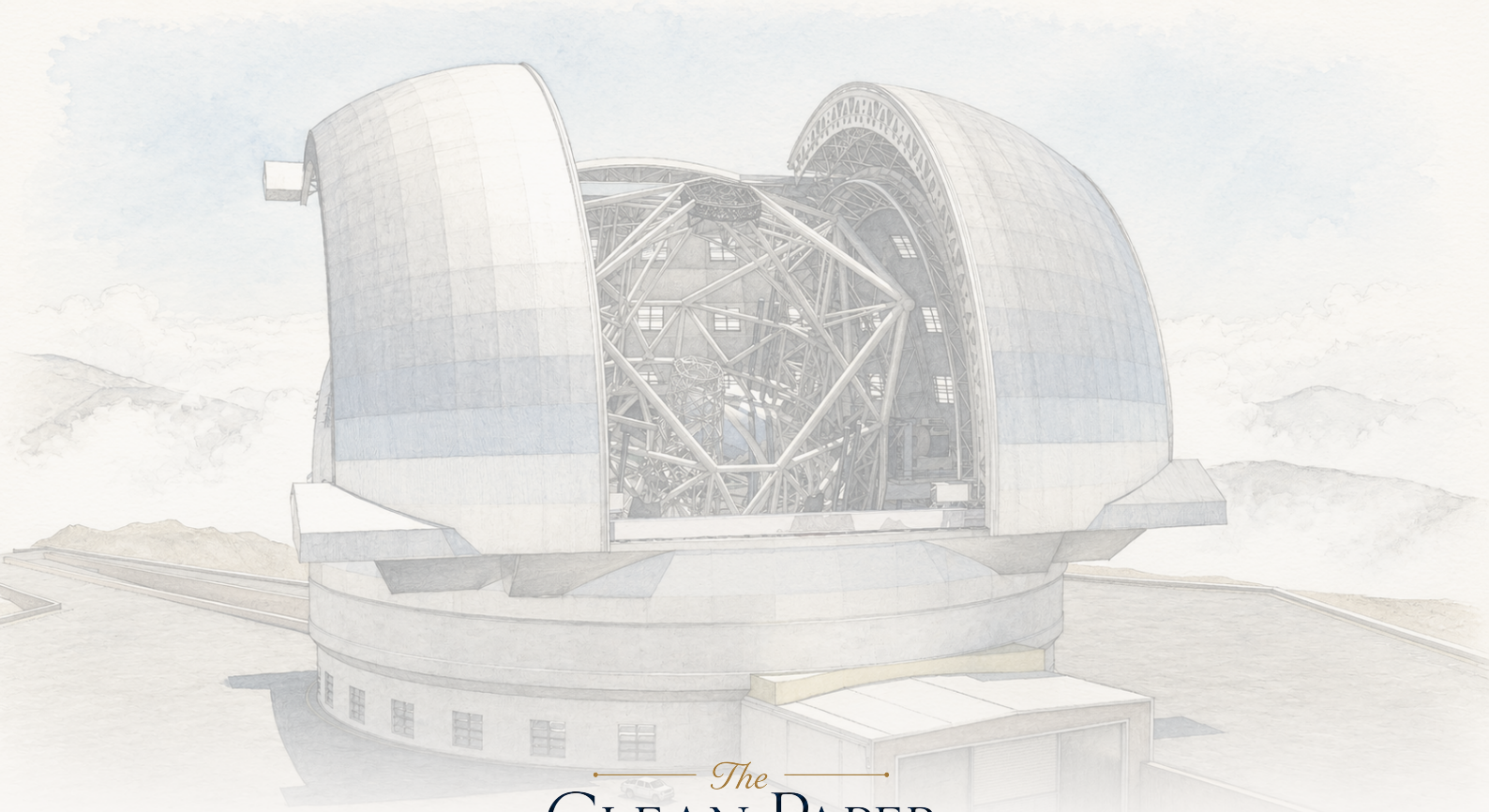


The
CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Safarri isotooppii koomeetii interstellar yeroo jalqabaa, inni urjii dulloomee elementoota ulfaatoo xiqqoo qabu naannoo keessatti dhalate ta'uu akka danda'u akeeka — garuu error bar guddaa qaba

Astronomeroonni VLT fayyadamuun 3I/ATLAS, koomeetii interstellar sadaffaa beekame keessatti reeshiyoo isotooppii kaarboonii fi naayitroojiinii safaran — yeroo jalqabaaf wanta urjii biraa keessaa dhufe irratti kun danda'ame. Reeshiyoon lameenuu koomeetota Sirna Aduu caala, kunis 3I'n disk'ii urjii dulloomee elementoota ulfaatoo xiqqoo qabu keessaa naannoo qabbanaa'aa alaa keessatti uumamuu waliin wal-sima. Safarri kun yeroo jalqabaati, garuu wanta tokko, reeshiyoo lama molekula tokko irraa, fi mirkanaa'ina dhabuu guddaa irratti hundaa'a — bakka 3I irraa dhufe argachuu miti, jireenya waliin immoo walitti dhufeenya hin qabu.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Matteo and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *High nitrogen and carbon isotopic ratios in the interstellar comet 3I/ATLAS*, C. Opitom, J. Manfroid, D. Hutsemekers, E. Jehin, M. M. Knight, K. Aravind, L. Ferellec, D. Bodewits, V. V. Guzman, M. Cordiner, R. C. Dorsey, F. La Forgia, M. Lippi, B. P. Murphy, C. Snodgrass, M. Bannister, Nature Astronomy (2026) · DOI: 10.1038/s41550-026-02921-7

Koomeetiin urjii biraa keessaa dhufe, keemistirii isaa dub-bisuuf hamma danda'amu nutti dhiyaate — garuu rakkinaan

Amma yeroo sadii, astronomeroonni wanta sirna urjii biraa keessaa dhufee sirna keenya keessa darbu arganiiru. Inni jalqabaa, 1I/'Oumuamua bara 2017 keessatti, teleskooppiin itti qajeeluu dura jechuun ni danda'ama darbee bade. Inni lammaffaa, 2I/Borisov bara 2019 keessatti, koomeetii dhugaa ture, garuu ifni isaa dadhabaa ture. Inni sadaffaa, **3I/ATLAS**, hojii namni tokko iyyuu duraan hojjechuu hin dandeenye tokkoof gahaa ifaa fi dhihoo ta'ee dhufe: wanta urjii biraa naannoo keessatti uumame keessaa *isotooppii* safaruu.

Koomeetii 3I/ATLAS fi coma isa marsu, Gemini North'n 26 Sadaasa 2025 irratti suuraa kaafame. Suuraan kun haala mul'ataa qofaaf; spektrumii UVES safara isotooppiif fayyadame miti.

International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/B. Bolin; image processing: J. Miller, M. Rodriguez, T.A. Rector and M. Zamani CC BY 4.0

Milkaa'inni callisaan barruu kanaa kana. Wanti haaraan gosa biraa miti, mallattoo jireenyaa miti — safara, gosa wanta interstellar irratti duraan argachuu hin dandeenye, lakkoofsa lama kan bakka 3I

itti dhalate irratti yaadannoo dadhabaa tokko baatan.

Maaliif reeshiyoon isotooppii nama tokko iyyuu yaaddessa

Kaarboonii fi naayitroojiiniin, akka elementoota hedduu, **isotooppii** qabu: atoomota lakkoofsa pirootonii walqixa qaban, garuu lakkoofsa niwutiroonii adda adda waan qabaniif ulfaatina adda adda qabu. Lakkoofsi maqaa akka **kaarboonii-12** ykn **kaarboonii-13** keessa jiru lakkoofsa massaa isaati — walitti qabama pirootonii fi niwutiroonii. Jechi "kaarboonii" qofti elementicha ykn walmakaa isotooppii isaa yeroo baay'ee argamu jechuudha; kaarboonii-12 qofa jechuu miti. Walmakaan sun kaarboonii-12'n baay'inaan kan guutame yoo ta'u, kaarboonii-13 ulfaataan keessaa qooda xiqqoo qaba; naayitroojiiniin idilee akkasuma naayitroojiinii-14 baay'inaan qaba, naayitroojiinii-15 ulfaataan immoo qooda xiqqoo qaba.

Qoodni kun bakka hunda walqixa miti. *Reeshiyoon* isotooppii salphaa fi ulfaataa gidduu jiru, ho'a, raadiyeeshinii fi seenaa keemistirii bakka molekuliin itti uumameetiin gartokkeen murtaa'a. Bakki qabbanaa'aa, dukkanaa'aa fi sirriitti eegame mallattoo tokko dhiisuu danda'a; bakki ho'aan, ifni cimaa ykn adeemsa keemistirii hedduu keessa darbe immoo mallattoo biraa dhiisuu danda'a.

Kanaaf reeshiyoon isotooppii akkuma waraqaa dhalootaa tokko. Sirna Aduu keenya keessatti, koomeetonni — jecha biraatiin, barfii yeroo Aduu uumamte irraa hafe — gatiiwwan wal fakkaatan baatu; isaanis duumessawwan interstellar fi diskoota urjiileen keessatti dhalatan waliin walbira qabuu dandeenya. Reeshiyoo wal fakkaatu wanta urjii *biraa* keessaa dhufe keessatti dubbisuun, yeroo jalqabaaf, naannoon inni keessaa dhufe kan keenya fakkaataa ture moo hin turre gaafachuuf carraa kenna.

Maal safaran, fi hammam mirkanaa'aa miti

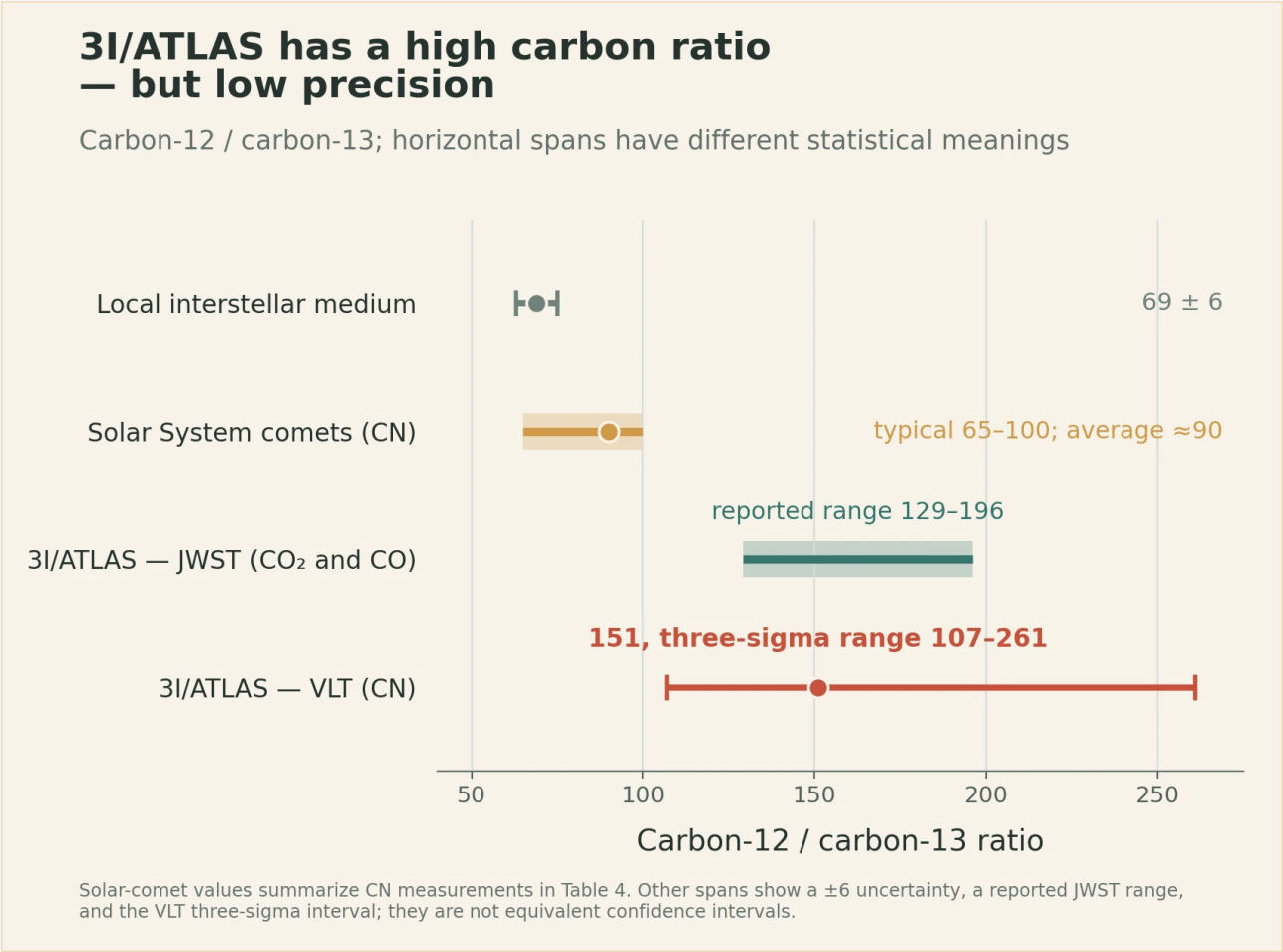
Spectrograph UVES kan European Southern Observatory'n Very Guddaa Telescope irratti qabu fayyadamuun, gareen kun halkan hedduuf Muddee 2025 keessa 3I/ATLAS ilaalee ifa **molekuloottan CN** isaa qorate. CN jechuun *raadiikaala saayanoo* — molekula salphaa atoomii kaarboonii tokko atoomii naayitroojiinii tokko waliin hidhametti — fi wantoota koomeetii keessatti salphaatti ifa kennanii mul'atan keessaa tokko. Molekuliin CN tokko kaarboonii fi naayitroojiinii tokko tokko waan qabuuf, ifni isaa mallattoo isotooppii elementoota lamaanuu yeroo tokko keessatti baata; kunis gareen sun reeshiyoo kaarboonii fi naayitroojiinii molekula tokko irraa dubbisuuf isaan dandeessise. Sararoonni isotooppii baay'ee hin argamne kaarboonii-13 fi naayitroojiinii-15 tokko tokkoon adda baasuuf baay'ee dadhabaa waan ta'aniif, gareen sararoota filataman walitti ida'ee mallattoo waloo safaramuu danda'u ijaare.

Reeshiyoo lama gabaasu:

- **kaarboonii-12 gara kaarboonii-13 ≈ 151** (daangaa sigma sadii tilmaamaan 107 hanga 261),
- **naayitroojiinii-14 gara naayitroojiinii-15 ≈ 363** (daangaa sigma sadii tilmaamaan 210 hanga

jechuun ni danda'ama 1,000).

Daangaawwan qajeelcha keessa jiran kun seenaa guutuu dha; isaan irra darbuun sirrii miti. Safaroonni kun kaayyoo ifni isaa dadhabaa fi saffisaan socho'u irratti baay'ee rakkisaa dha, mirkanaa'ina dhabuu guddaa qabu — keessumaa naayitroojiinii irratti, gatiin "dhugaa" koomeetota Sirna Aduu irraa xiqqoo ol ta'uu irraa kaasee hanga yeroo hedduu caaluutti jiraachuu danda'a. Wanti ragaan cimsanii deeggaran *kallattii* dha — reeshiyoon lameenuu gatii koomeetota Sirna Aduu keessatti yeroo baay'ee argamu caala (**kaarbooniif naannoo 90, naayitroojiiniif naannoo 150**). Wanti isaan hin deeggarre lakkoofsa sirrii tokko dha. (Lakkoofsi naayitroojiinii daangaa mala keessaa jiru tokko wajjinis walitti bu'a: fit'n gatii hanga 1,000 qofa qorachuuf hayyamame, daangaan isaa olii immoo jechuun ni danda'ama daangaa sana irra ga'a — kanaaf "jechuun ni danda'ama 1,000" jechuun bakka malichi qorachuu dhaabe hammam akka ta'e, akkuma bakka gatiin dhugaa jiruu ibsa.)



Gatiin VLT kan CN keessatti argame daangaa koomeetota Sirna Aduu idilee caala, garuu daangaa sigma sadii bal'aa fi wal-qixxee hin taane qaba. Band'n Sirna Aduu ibsa qofa; spanwwan horizontal biroo hiika istaatistiksii adda adda qabu, kanaaf dogoggora bar walqixa miti.

Original chart — The Clean Paper; values from Opitom et al., Nature Astronomy 2026 CC BY 4.0

Wanti nama tasgabbeessu, bu'aan kaarboonii tilmaama walaba JWST irraa argame waliin walii gala; JWST reeshiyoo walfakkaatu molekuloottan adda keessatti (kaarboon daayoksaayidii fi kaarboon monoksaayidii) safaree daangaa wal-simu argate. Meeshaalee lama, molekuloottan lama, daangaa

walfakkaatu — tokkoon tokkoon isaanii qofa caalaa amansiisaa dha.

Maal nuu himuu danda'a

Reeshiyoon lameenuu gama ol-aanaa irratti argamuun, of-eeggannoodhaan, kallattii tokko keessatti walii galu. Reeshiyoon kaarboonii-12 gara kaarboonii-13 ol-aanaan, modeloota jijjiirama keemistirii akka tilmaamanitti, naannoo **urjii dulloomee elementoota ulfaatoo xiqqoo qabu** keessatti eegama — urjii seenaa Galaaksii jalqabaa keessatti, dhaloonni urjiilee baay'een gaazicha kaarboonii ulfaataadhaan hin badhaasin dura uumame. Reeshiyoon naayitroojiinii-14 gara naayitroojiinii-15 ol-aanaan immoo disk'ii pilaaneetota uumu keessa bakka qabbanaa'aa fi sirriitti eegame, raadiyeeshinii ultraviolet urjii irraa fagoo ta'etti uumamuu waliin walii gala.

Lamaan walitti qabanii, barreessitoonni 3I **disk'ii urjii dulloomee, metalummaan isaa gadi-aanaa ta'e keessaa naannoo qabbanaa'aa alaa keessatti uumamuu waliin kan wal-simu** jechuun dubbisu. Kun carraa dhugumaan nama hawwatu dha — 3I'n wanta pilaaneetota uumu kan urjii Aduu irraa baay'ee adda ta'e irraa fudhatame ta'uu danda'a. Garuu jechi "waliin kan wal-simu" hima sana keessatti hojii guddaa qaba. Kun hiika ragaan hayyamu dha; bakka ragaan sirriitti murteessu miti.

Kun maal *hin mirkaneessu*

- Bakka 3I irraa dhufe **hin adda baasu**. "Urjii dulloomee, elementoota ulfaatoo xiqqoo qabu waliin wal-simu" jechuun reeshiyoo lama irraa hiika danda'amu qofa; sirna mana isaa argame jechuu miti.
- Safara **sirrii** miti. Mirkanaa'ina dhabuu guddaa qaba — keessumaa reeshiyoon naayitroojiinii lakkoofsa murtaa'e caalaa "ifatti gama ol-aanaa irratti" jedhu caala. Mata-dureen lakkoofsa tokko akka murtaa'etti fudhatu bu'aa kana garmalee guddisa.
- Jireenya waliin **walitti dhufeenya hin qabu**. CN molekula salphaa dha; reeshiyoon isotooppii ho'a fi raadiyeeshinii yeroo uumamaa galmeessa, bioloojii miti. Kun molekuloottan orgaanikii walxaxaa, keemistirii jireenya dura, ykn waan jiraataa tokko arguu miti.
- Wanta **tokko**, reeshiyoo lama, **molekula tokko** irraa irratti hundaa'a. Koomeetonni interstellar waliigalaan maal akka fakkaatan hin himu — tokko kana qofa maal akka fakkaatu ibsa.
- Akka pilaaneetota ykn koomeetonni itti uumaman **deebi'ee hin barreessu**. Suuraa irra caalaa wantoota Sirna Aduu fi diskoota fagoo irraa ijaarame keessa daataa qabxii addaa tokko dabaluu qofa.

Ragaan hammam cimaa dha?

Giddu-galeessa, garuu dhugaa; barreessitoonnis of-eeggannoodhaan itti dhiyaatu.

- Safarri mataan isaa yeroo jalqabaati — namni tokko iyyuu duraan reeshiyoo isotooppii wanta interstellar irraa hin baafne, sababni isaas wantoonni lama duraa baay'ee dadhabaa turan.
- Hanqinni guddaan sirrii ta'uu isaa: dogoggora bar guddaa, keessumaa naayitroojiinii irratti; kanaaf *gatiiwwan* isaanii laafaa dha, garuu *kallattiin* isaanii (koomeetota Sirna Aduu caaluu) nisbaan jabaa dha.
- Wanta tokko qofa, molekula tokko (CN) keessatti, yeroo gabaabaa keessatti safarame; hiikni urjii inni keessatti dhalate irratti kennamu moodeela irratti hundaa'a.
- Bu'aan kaarboonii JWST'n molekuloottan biroo keessatti safara walabaatiin deeggarsa qaba; kun reeshiyoo sana irratti amantaa dabalata.

Kun safara milestone tokko, garuu daangaa mirkanaa'ina dhabuu bal'aa qabu — ilaalcha jalqabaa, bu'aa xumuraa miti.

Maaliif barbaachisaa dha

Kurnan waggootaa muraasaaf, keemistirii uumama pilaaneetotaa irratti waan beeknu hundi fakkeenya tokko irraa ture: Sirna Aduu keenya, dabalataan diskoota urjiilee fagoo marsan teleskooppiidhaan ilaallu, bakka isaan bira deemuu hin dandeenye. Wantoonni interstellar addaa dha — wanta qaamaa dhugaa sirna urjii biraa keessaa dhufee, qorachuuf gahaa nutti dhiyaatu.

Reeshiyoo isotooppii keessaa tokko, tilmaama qofaan illee, dubbisuu danda'uun waan danda'amu keessatti babal'ina dhugaa dha. Gaaffii "koomeetonni sirnoota biroo maal irraa ijaaraman?" jedhu gara "kunoo, isaanii keessaa tokko irraa lakkoofsa lama"tti jijjiira. 3I/ATLAS fagaachaa deemuun, yeroo booda, daawwattoonni interstellar caalaatti ifaa ta'an argamuun — observatory akka Vera Rubin Observatory wantoota dabalataa arguu akka danda'u eegama — kun galmee jalqabaa walbira qabuu duraan gochuu hin dandeenye keessatti ta'a: keemistirii Sirna Aduu keenyaa fi keemistirii sirnoota biroo, karaa wal-fakkaatuun safarame.

Cuunfaa gabaabaa

Astronomeroonni Very Guddaa Telescope fayyadamuun 3I/ATLAS, koomeetii interstellar sadaffaa beekame keessatti reeshiyoo isotooppii kaarboonii fi naayitroojiinii safaran — yeroo jalqabaaf wanta urjii biraa keessaa dhufe irratti kun danda'ame. Reeshiyoon lameenuu koomeetota Sirna Aduu keessatti argamu caala, kunis 3I'n disk'ii urjii dulloomee elementoota ulfaatoo xiqqoo qabu keessaa naannoo qabbanaa'aa alaa keessatti uumamuu waliin wal-sima. Safarri kun yeroo jalqabaati, garuu wanta tokko qofa, reeshiyoo lama molekula tokko irraa, fi mirkanaa'ina dhabuu guddaa irratti hundaa'a — bakka 3I irraa dhufe argachuu miti, lakkoofsa sirrii miti, jireenya waliin immoo walitti dhufeenya hin qabu.

Sakatta'a ifaa

Wanti barruun agarsiisu: Safara reeshiyoo isotooppii yeroo jalqabaa wanta interstellar irratti: kaarboonii-12/kaarboonii-13 ≈ 151 fi naayitroojiinii-14/naayitroojiinii-15 ≈ 363 molekula CN koomeetii 3I/ATLAS keessatti, spectroscopy VLT/UVES irraa. Lameenuu koomeetota Sirna Aduu idilee caalu; gatiin kaarboonii tilmaama JWST walaba ta'e waliin walii gala.

Wanti dhugaa garuu hiika irratti hundaa'u: Yaada 3I'n disk'ii alaa urjii dulloomee, metalummaan isaa gadi-aanaa ta'e keessatti uumame jedhu. Reeshiyoo ol-aanaa fi modeloota jijjiirama keemistirii waliin wal-sima, garuu inferensii dha; murtii miti.

Wanti inni hin agarsiifne: Bakka 3I dhugumaan irraa dhufe; gatii sirrii reeshiyoo lameenuu (keessumaa naayitroojiinii, dogoggora bar baay'ee guddaa qabu); waa'ee jireenyaa, keemistirii orgaanikii walxaxaa ykn jireenyaaf mijataa ta'uu; bu'aa waliigalaa wantoota interstellar irratti (kun wanta tokko, molekula tokko qofa).

Daangaawwan ijoo: Mirkanaa'ina dhabuu safaraa guddaa; kaayyoo tokko qofa yeroo gabaabaa keessatti ilaalame; reeshiyoo molekula tokko (CN) irraa; hiikni naannoo dhalootaa moodeela irratti hundaa'a.

Dubbisaan waliigalaa hammam amantaa qabaachuu qaba? Kun yeroo jalqabaati — isotooppiin wanta interstellar irraa dubbifame — fi reeshiyoon lameenuu koomeetota Sirna Aduu waliin walbira qabamuun gama ol-aanaa irratti akka jiran irratti amantaa guddaa qabaachuu danda'a. Gatii sirrii irratti amantaa gadi-aanaa, seenaa bakka dhalootaa irratti immoo of-eeggannoo sirrii. Haalli sirrii: foddaa xiqqoo, dhugaa, keemistirii urjii biraa keessatti baname — xiyyeeffannaan *xiqqoo* irratti haa ta'u.

Maddoota

Opitom et al., High nitrogen and carbon isotopic ratios in the interstellar comet 3I/ATLAS, Nature Astronomy (2026)
https://doi.org/10.1038/s41550-026-02921-7